Aus der Nervenklinik der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. med. W. Schulte

Elektromyografische Untersuchungen zur Bestimmung von Normwerten für die Nervenleitgeschwindigkeit schneller und langsamer motorischer Fasern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von
Manfred Braun
aus Maienfels

1969

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547611_0101

Aus der Nervenklinik der Eberhard-Karls-Universität Tübingen
Direktor: Prof. Dr. med. W. Schulte

Elektromyografische Untersuchungen zur Bestimmung von Normwerten für die Nervenleitgeschwindigkeit schneller und langsamer motorischer Fasern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen

vorgelegt von
Manfred Braun
aus Maienfels

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. J. Hirschmann

Berichterstatter: Professor Dr. W. Schulte

Disposition:

I. Einleitung 5

II. Methodik 10

III. Ergebnisse 16

A Betrachtung der schnellen Nervenfasern
B Betrachtung der langsamen Fasern und der Differenz zwischen schnellen und langsamen Fasern
C Ergebnisse einer Verlaufsmessung

IV Diskussion 21

A Kritik der Methode
B Besprechung der Versuchsergebnisse

V Zusammenfassung 30

VI Tabellen 32

VII Graphische Auswertung (Verteilungskurven) 49

VIII Literatur 56

I. Einleitung

Die Nervenfasern werden nach GASSER und ERLANGER in drei Fasergruppen eingeteilt. Diese Einteilung beruht auf den Unterschieden in den Leitungsgeschwindigkeiten, Faserdurchmessern, Reizschwellen, Einzel-Spike-Amplituden und Nachpotentialen.

Typ A umfaßt die schnelleitenden, markhaltigen Fasern. Er wird unterteilt in die Untergruppen α, β, γ und δ. Bei Warmblütern liegen die Leitungsgeschwindigkeiten für A_α- Fasern zwischen 120-60 m/sec, für A_β-Fasern zwischen 90-40 m/sec, für A_γ-Fasern zwischen 45-30 m/sec und für A_δ-Fasern zwischen 25-15 m/sec.

Typ B umfaßt markhaltige Fasern, die in der Regel dem autonomen Nervensystem angehören. Ihre Leitungsgeschwindigkeit liegt um 15 m/sec.

Typ C-Fasern sind die marklosen postganglionären, mit einer Leitungsgeschwindigkeit, die um 2 m/sec streut.

In dieser Arbeit sollen nur die motorischen Fasern peripherer Nerven untersucht werden. Sie gehören zur Gruppe A_α.

Da im peripheren Nerven die Durchmesser der Nervenfasern große Unterschiede aufweisen (REXED 1944), ist auch zu erwarten, daß diese Fasern, obwohl funktionell gleichartig, eine unterschiedliche Nervenleitgeschwindigkeit (NLG) aufweisen.

BOLZANI (1954) errechnete das NLG-Spektrum motorischer Fasern aus der unterschiedlichen Dauer des Muskelpotentials bei muskelnahem und muskelfernem Nervenreizpunkt. POLONI und SALA (1961) gingen bei ihren Untersuchungen nach derselben Methode vor.

Zwei weitere Methoden (THOMAS und Mitarbeiter 1959, H-C. HOPF 1962) beruhen auf dem Prinzip der "antidromen Reizleitung", das auf das folgende Verhalten des Nerven zurückgreift: Wird eine motorische Nervenfasern an einer

beliebigen Stelle zwischen Vorderhorn und Muskel erregt, so breitet sich gleichzeitig ein Impuls sowohl nach distal ("orthodrome"Erregung) als auch ein Impuls nach proximal ("antidrome" Erregung) aus (TASAKI 1953). Die "orthodrome" Erregung führt zur Muskelkontraktion, wobei das Muskelpotential registriert wird.

Treffen nun nach Reizung eines Nerven an zwei verschiedenen Punkten zwei in entgegengesetzter Richtung laufende Erregungsimpulse aufeinander, so löschen sie sich gegenseitig aus (TASAKI 1959).

THOMAS und Mitarbeiter (1959) reizten den Nerven synchron an zwei getrennten Punkten und untersuchten den Beginn des durch Reiz 2 gezündeten Muskelpotentials. Dabei wurde der Reiz 1 (muskelnah) in seiner Größe von null bis supramaximal stufenweise verändert. Da die raschleitenden Fasern aufgrund ihrer niedrigeren Reizschwelle zuerst durch den "antidrom" laufenden Impuls für den proximalen Reiz blockiert werden und die langsamen infolge der höheren Reizschwelle zuletzt, so schiebt sich bei zunehmender Vergrößerung der Intensität des Reizes 1 der Beginn des durch den supramaximalen Reiz 2 ausgelösten Muskelpotentials hinaus. Die größte Latenzzeit des 2. Muskelpotentials entspricht den langsamen,die kleinste den schnellen Fasern.

H-C.HOPF (1962) verändert in seinen Untersuchungen nicht die Größe des Reizes (beide Reize sind supramaximal), sondern den zeitlichen Abstand zwischen Reiz 1 und Reiz 2. Dabei ergeben sich für einen Nerven, der sich aus verschieden schnell leitenden Fasern zusammensetzt, gedanklich folgende Möglichkeiten (sh. auch Abb.1):

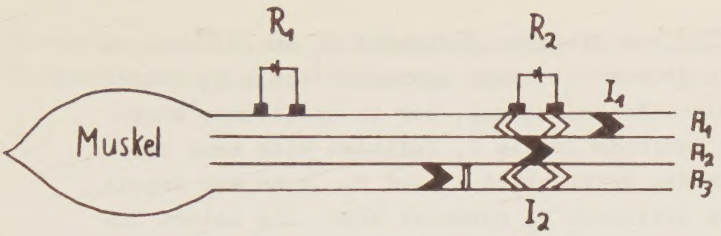


Abb.1.

Schematische Darstellung der Versuchsanordung (nach HOPF):
A_1: rascheste Fasern, A_2: mittlere Fasergeschwindigkeit, A_3: langsamste Fasern.
R_1: distaler Reizpunkt (muskelnah), R_2: proximaler Reizpunkt (muskelfern).

1.) Der vom distalen Reizpunkt R_1 ausgelöste, in "orthodromer" Richtung laufende Impuls I_1 führt zu einer Muskelzuckung, der in "antidromer" Richtung laufende Impuls I_1 hat den proximal gelegenen Reizpunkt R_2 bereits so lange passiert, daß dieser nicht mehr refraktär ist und der Reiz 2 in "orthodromer" Richtung weitergeleitet wird und somit eine weitere Muskelzuckung hervorgerufen wird. Entscheidend ist, daß der Reiz 2 mit genügend langer Verzögerung nach Reiz 1 gezündet wird, bzw. daß die Leitgeschwindigkeit hoch ist, (= raschleitende Fasern) (Abb.1, Faser A_1).

2.) Der vom distalen Reizpunkt R_1 ausgelöste, in "orthodromer" Richtung laufende Impuls I_1 führt zu einer Muskelzuckung, der in "antidromer" Richtung laufende Impuls I_1 befindet sich gerade unter dem Reizpunkt R_2, die Faser ist an dieser Stelle in der absoluten Refraktärphase und damit unerregbar, die zweite Muskelzuckung fällt aus. (= langsamer leitende Faser) (Abb.1, Faser A_2).

3.) Der vom distalen Reizpunkt R_1 ausgelöste, in "orthodromer" Richtung laufende Impuls I_1 führt zu einer Muskelzuckung, der in "antidromer" Richtung laufende Impuls I_1 befindet sich noch zwischen den Reizpunkten R_1 und R_2, wenn der Impuls I_2 am Reizpunkt R_2 gezündet wird. Die beiden Impulse I_1 und I_2 laufen aufeinander zu und löschen sich aus, die zweite Muskelzuckung fällt ebenfalls aus (= langsam leitende Faser) (Abb.1, Faser A_3).

Seit man durch die Einführung des Elektromyografen die NLG klinisch auf einfache und exakte Weise bestimmen kann, hat diese für die Diagnostik peripherer Nervenerkrankungen zunehmend an Bedeutung gewonnen. Ist das Axon mitbetroffen, so tritt nicht selten auch eine Verlangsamung der NLG auf, wofür eine Schädigung der Myelinscheiden verantwortlich sein dürfte, die so erheblich sein kann, daß Werte von 9-14 m/sec, gemessen werden können (HOPF 1963).

Nach HOPF (1963) verändert sich aber die NLG der einzelnen Fasern in der Regel nicht gleichmäßig, sondern es werden zuerst die langsamen Fasern in ihrer Leitfunktion geschädigt, bevor die schnellen nachfolgen. Das Ausmaß der Streuung zwischen schnellen und langsamen Fasern kann daher in extremen Fällen zwischen 10- und 40 m/sec betragen (HOPF 1963). Daraus ergibt sich ein Überblick über die Schwere des Krankheitsbildes und die pathophysiologischen Bedingungen.

In dieser Arbeit werden Normwerte für die schnelleitenden Fasern, die langsamleitenden Fasern und die Streubreite schneller und langsamer Fasern, der Nervi ulnaris, medianus, peroneus und tibialis bestimmt. In der Literatur werden diese Werte bisher lediglich für den Nervus ulnaris angegeben (HOPF 1962, Škorpil 1965). Diese "Normalwerte" sind die

Voraussetzung für die weitere Diagnostik peripherer Nervenerkrankungen mit Hilfe der NLG.

II. Methodik:

Die Untersuchungen wurden am N.ulnaris, N.medianus, N.peroneus und N.tibialis nach der von HOPF (1962) beschriebenen Methode durchgeführt. Als Versuchspersonen (Vpn) standen männliche und weibliche Personen im Alter von 10-30 Jahren zur Verfügung. Um manifeste Krankheiten, eine eventuelle Medikation und deren Einfluß auf die NLG auszuschließen, wurden keine Patienten aus der Klinik herangezogen, sondern Versuchspersonen, bei denen keine Krankheiten bekannt waren (Studenten, Schüler, Krankenschwestern).

Die Versuchspersonen wurden in zwei Altersgruppen eingeteilt:
Gruppe I: 21-30 Jahre, Gruppe II: 10-20 Jahre.

Die Nerven wurden an folgenden Stellen gereizt:
N.ulnaris: Sulcus bicipitalis, Epicondylus medialis humeri und oberhalb des Handgelenks (radial vom Processus styloides ulnae)
N.medianus: Sulcus bicipitalis, Fossa cubiti (medial der Sehne des M.biceps) und oberhalb des Handgelenks (zwischen der Sehne des M.palmaris longus und der des M. flexor carpi radialis).
N.peroneus: Oberhalb des Caput fibulae, oberes Sprunggelenk (zwischen Sehne des M.extensor hallucis longus und M.extensor digitorum longus).
N.tibialis: Fossa poplitea, Hinterrand des Malleolus medialis.
Als Reizgerät diente ein HSE Stimulator II. Stimuliert wurde mit Rechteckreizen von 0,2 msec Dauer, die Parameter der zwei Reize konnten unabhängig voneinander eingestellt werden, Reiz 2 war um einen beliebig wählbaren Zeitbetrag gegenüber Reiz 1 verzögert auslösbar. Es wurde percutan und supramaximal gereizt mit einer Oberflächenelektrode, an der sich Kathode und Anode (Durchmesser: je 7 mm) in einem Abstand von 25 mm be-

fanden. Diese wurden mittels eines Bandes so an Arm bzw. Bein befestigt, daß die Anode proximal und die Kathode distal war.

Die Registrierung der Muskelaktionspotentiale erfolgte mit einem Disa-2 Kanal-EMG-Gerät. Die Muskelaktionspotentiale wurden mit silbernen Plättchenelektroden (1 x 1 cm) als Summenpotential abgeleitet, wobei eine Elektrode über dem Muskelbauch, die zweite über der Sehne mit einem Klebstreifen befestigt wurde (tendon-belly-Ableitung). Zur besseren Leitung zwischen Haut und Elektrode diente eine gutleitende Paste. Als Ableitungspunkte wurden für die einzelnen Nerven gewählt:
N.ulnaris: Hypothenar (M.abductor digiti minimi).
N.medianus: Thenar (M.abductor pollicis brevis).
N.peroneus: Extensor digitorum brevis.
N.tibialis: M.flexor hallucis brevis.

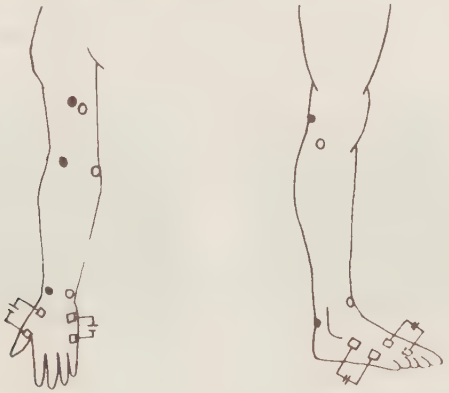


Abb. 2. Reiz- u. Ableitungspunkte

• *N. medianus*
○ *N. ulnaris*
• *N. tibialis*
○ *N. peroneus*

Die Aktionsströme der Muskeln wurden auf dem 2-Strahl-Oszillografen aufgezeichnet und mit einer anmontierten Polaroidkamera fotografiert, ebenso die Abstände der Reizmarkierungen.

Im einzelnen wurde wie folgt vorgegangen:

1. Bestimmung der Geschwindigkeiten der schnellen Fasern durch Reizung an drei (N.ulnaris und N.medianus) bzw. zwei (N.peroneus und N.tibialis) verschiedenen Stellen und Fotografieren der entsprechenden Muskelpotentiale. Die Abstände der Reizelektroden wurde mit dem Maßband bestimmt (jeweils von der Kathode aus gemeßen).

2. Bestimmung der NLG der langsamen Fasern und Kontrollmeßungen der NLG der schnellen Fasern (nach dem Prinzip der antidromen Reizleitung). Der Punkt, an dem erstmals eine Verkleinerung der Amplitude des von Reiz zwei hervorgerufenen Muskelpotentials infolge Blockierung langsamer Fasern zu erkennen war wurde zu deren Berechnung verwendet. Durch zunehmende Verkürzung des zeitlichen Abstandes der beiden Reize wurde endlich der Punkt erreicht, an dem das Muskelpotential von Reiz zwei eben noch sichtbar war. Damit wurde eine Kontrollmessung der schnellen Fasern, die als letzte blockiert werden, durchgeführt.

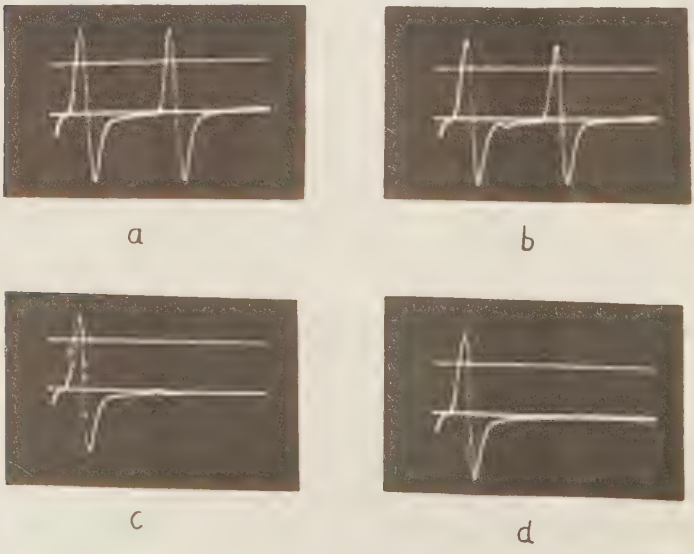


Abb. 3, a-d

Abb.3 zeigt vier Auschnitte aus diesem Vorgang:

a) Der zeitliche Abstand zwischen R_1 und R_2 ist so groß gewählt, daß alle Fasern an der Stelle R_2 die Refraktärperiode nach Durchlaufen des Impulses I_1 überwunden haben, somit alle zur Leitung des Impulses I_2 zur Verfügung stehen (die Amplituden beider Aktionspotentiale sind gleich groß).

b) Die langsam leitenden Fasern sind noch refraktär, wenn der Impuls I_2 gezündet wird. Sie stehen zur Leitung des Impulses I_2 nicht zur Verfügung (Amplitude des durch I_2 hervorgerufenen Aktionspotentials wird kleiner).

Hieraus läßt sich die Geschwindigkeit des langsamen Fasern berechnen. Beispiel:
Der zeitliche Abstand zwischen R_1 und R_2 (bzw. I_1 und I_2) beträgt 10,5 msec. Er ist jeweils den beiden Reizmarkierungen auf der oberen, horizontal verlaufenden Linie der Abbildungen zu entnehmen (1 cm = 10 msec in diesem Abbildungsverhältnis). Hiervon werden 0,5 msec für die Refraktärzeit abgerechnet. Der Abstand zwischen R_1 und R_2 betrage s = 35 cm, = 0,35 m. Aus der Formel: Geschwindigkeit = $\frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}} = \frac{s}{t}$, folgt:

$$v = \frac{0,35}{0,01} \frac{m}{sec} = 35 \text{ m/sec}$$

c) Wird der zeitliche Abstand zwischen R_1 und R_2 weiter verringert, so erreicht man schließlich den Punkt, an dem nur noch die schnellsten Fasern zur Impulsleitung imstande sind. Alle übrigen sind refraktär für den Impuls I_2. Daraus läßt sich nach dem oben beschriebenen Verfahren auch die Geschwindigkeit der schnelleitenden Fasern ermitteln (Kontrollmessung). Die Amplitude des aus I_2 resultierenden Aktionspotentials ist eben noch sichtbar.

d) Alle Fasern sind für I_2 refraktär (Amplitude des Aktionspotentials = 0).

Fotografiert man die geschilderten Vorgänge übereinander, so zeigt sich, daß die Amplitudenmaxima im Verlauf einer Exponentialkurve abfallen (Abb. 4).

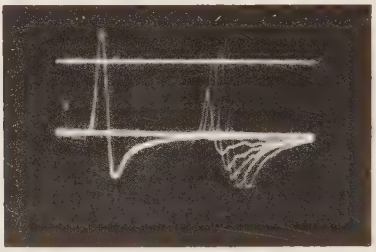
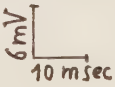


Abb 4. 

Für die Auswertung der Kurven wurde allerdings ein im Maßstab 2 : 5 gedehntes Bild benutzt, indem jeweils vor dem Fotografieren die x - Ablenkung des Kathodenstrahls in diesem Verhältnis beschleunigt wurde, um eine größere Genauigkeit bei der Bestimmung der Abstände der Reizmarkierungen zu erzielen.

Abb.5: Die Kurven 1-3 zeigen die Muskelpotentiale des N.medianus. Reizpunkte: Sulcus bicipitalis. (1), Fossa cubiti (2), oberhalb des Handgelenks (3).

Oberhalb der Kurven 4 und 5 verlaufen horizontale Linien mit den Reizmarkierungen für die Impulse I_1 und I_2 zur Bestimmung der zeitlichen Abstände von Reiz 1 und 2. Die durch den Impuls I_2 hervorgerufenen Aktionspotentiale selbst werden nicht mehr abgebildet, da die x-Ablenkung im Verhältnis 2 : 5 gedehnt wurde.

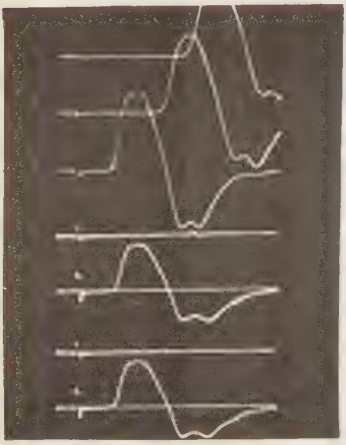


Abb.5.

Zeile 1-3:

Zeile 4-7:

III. Ergebnisse:

A. Betrachtung der schnellen Nervenfasern:

Die Messung der schnellen Nervenfasern ergab folgende Durchschnittswerte (in Klammern jeweils die Werte der Versuchsgruppe II):

Nerv	Anzahl der Vpn	$\bar{x} \pm s$ (m/sec)
N.ulnaris	50	57,0 ± 3,20
	(25)	(57,6 ± 3,89)
N. medianus	51	59,8 ± 3,34
	(24)	(60,2 ± 3,59
N.peroneus	49	47,2 ± 3,40
	(24)	(48,6 ± 3,36)
N.tibialis	43	46,6 ± 3,30
	(24)	(47,6 ± 3,30)

Es ergeben sich für den N.medianus die höchsten NLG-Werte, die des N.ulnaris waren um etwa 2-3 m/sec langsamer, die der beiden Beinnerven um 11-12 m/sec.

Dabei schwankten die Werte innerhalb folgender Grenzen:

N.ulnaris: 51,0 - 65,5 (50,4 - 65,5) m/sec
N.medianus: 48,0 - 66,2 (51,8 - 68,1) m/sec
N.peroneus: 37,5 - 53,0 (43,2 - 58,7) m/sec
N.tibialis: 37,8 - 58,2 (43,5 - 56,7) m/sec

Für die beiden Armnerven wurden außerdem die NLG auf einer proximalen Teilstrecke (N.ulnaris: Sulcus bicipitalis-Epicondylus medialis humeri, Meßstrecke 10 - 15 cm; N.medianus: Sulcus bicipitalis-Fossa cubiti, Meßstrecke ebenfalls 10 - 15 cm) und einer distalen Teilstrecke (N.ulnaris: Epicondylus medialis-Handgelenk, N.medianus:

Fossa cubiti-Handgelenk, Meßstrecken jeweils 20 - 30 cm) bestimmt.

Dabei zeigte sich, daß die Geschwindigkeit im proximalen Anteil der Nerven größer ist als im distalen:

N.ulnaris: $\bar{v}_1$ = 59,2 (58,8) m/sec
$\bar{v}_2$ = 56,2 (57,7) m/sec
N.medianus: $\bar{v}_1$ = 62,9 (65,2) m/sec
$\bar{v}_2$ = 58,1 (58,0) m/sec

$\bar{v}_1$ = mittlere NLG im proximalen Abschnitt.
$\bar{v}_2$ = mittlere NLG im distalen Abschnitt.

Bei einem Teil der Versuche wurde eine zusätzliche Kontrollbestimmung der Leitgeschwindigkeit der raschleitenden Fasern durchgeführt unter Hinzuziehung des "antidromen Reizes", entsprechend dem weiter vorn beschriebenem Vorgehen. Die dabei erhaltenen Werte stimmen weitgehend mit denen nach der obigen Methode überein:

N.ulnaris: $\bar{v}_{s'}$ = 55,9 (56,4) m/sec
N.medianus: $\bar{v}_{s'}$ = 58,1 (59,0) m/sec
N.peroneus: $\bar{v}_{s'}$ = 46,2 (48,2) m/sec
N.tibialis: $\bar{v}_{s'}$ = 47,0 (49,9) m/sec

$\bar{v}_{s'}$-NLG der schnellen Fasern, durch Kontrollmessung bestimmt (Mittelwerte).

B. Betrachtung der langsamen Fasern und der Differenz zwischen schnellen und langsamen Fasern.

Die Absolutwerte der langsamen Fasern waren auch hier am größten beim N.medianus. Die des N.ulnaris lagen wieder um 2 - 3 m/sec darunter, während die Werte des N.peroneus und des N.tibialis um etwa 10 m/sec kleiner waren. Da die Werte des N.medianus in der Versuchsgruppe II etwas niedriger liegen, als in der Gruppe I, ergibt sich eine kleinere Differenz zu den Beinnerven (bei Vergleich mit dem N.medianus etwa 7 - 8 m/sec. Insgesamt betrachtet,

liegen die Werte der Gruppe II alle leicht unter denen der Gruppe I. Am deutlichsten ist dies beim N.ulnaris und N.medianus ausgeprägt.

Nerv	Anzahl der Vpn	$\bar{x} \pm s$ (m/sec)
N.ulnaris	50	44,8 ± 3,58
	(25)	(43,1 ± 3,54)
N.medianus	51	47,7 ± 4,28
	(24)	(45,5 ± 4,09)
N.peroneus	49	37,4 ± 2,31
	(24)	(37,0 ± 3,81)
N.tibialis	43	37,7 ± 3,06
	(24)	(38,3 ± 3,06)

Die Werte schwankten dabei für die einzelnen Versuchspersonen zwischen folgenden Grenzen:

N.ulnaris: 37,4 - 55,0 (37,7 - 51,8) m/sec
N.medianus: 40,0 - 57,2 (39,6 - 54,0) m/sec
N.peroneus: 25,5 - 52,3 (31,9 - 46,8) m/sec
N.tibialis: 32,0 - 46,7 (28,4 - 43,4) m/sec

Zur Charakterisierung eines peripheren Nerven kann auch die Differenz zwischen den schnellen und langsamen Fasern herangezogen werden. Hier zeigt sich in der Gruppe II eine etwas höhere Streuung als in der Gruppe I. An den Nervi ulnaris und medianus war dies ausgeprägter, als am N.peroneus und N.tibialis, wo sich die Streuung nur wenig unterschied. Die etwas höhere Streuung ergab sich durch eine größere NLG der schnellen und eine kleinere NLG der langsamen Fasern der Gruppe II.

Beim Vergleich der Differenz der schnellen und langsamen Fasern der Armnerven mit der der Beinnerven ergeben sich für die erstgenannten höhere Werte:

Nerv	Anzahl der Vpn	$\bar{x} \pm s$ (m/sec)
N.ulnaris	50	12,2 ± 3,50
	(25)	(14,5 ± 3,72)
N.medianus	51	11,9 ± 3,42
	(24)	(14,7 ± 3,40)
N.peroneus	49	9,8 ± 2,62
	(24)	(11,6 ± 3,03)
N.tibialis	43	8,8 ± 2,70
	(24)	(9,2 ± 3,94)

Die Schwankungsbreite der einzelnen Versuchswerte ergab:

N.ulnaris: 4,0 - 19,1 (5,0 - 22,0) m/sec
N.medianus: 5,9 - 17,3 (7,5 - 21,3) m/sec
N.peroneus: 4,7 - 15,8 (4,0 - 16,8) m/sec
N.tibialis: 2,4 - 16,2 (4,3 - 18,7) m/sec

C. Ergebnisse einer Verlaufsmessung:

Die einzelnen Werte der Nervenleitgeschwindigkeit sind nicht konstant, sondern oft ganz erheblichen Schwankungen unterworfen. Um das zu zeigen, wurde eine Verlaufsmessung am N.ulnaris und N.medianus einer 26-jährigen, männlichen Versuchsperson vorgenommen, die sich über acht Tage erstreckte und jeweils nach dem Mittagessen durchgeführt wurde. Es ergaben sich dabei folgende Schwankungen:

Schnelle Fasern:	N.ulnaris:	V_s = 55,5-61,5 ($\bar{v}_s$=59,1)m/sec
	N.medianus:	V_s = 60,0-65,0 ($\bar{v}_s$=63,1)m/sec
Kontrollmessung:	N.ulnaris:	$\bar{V}_s$,= 58,8 m/sec
	N.medianus:	$\bar{V}_s$,= 63,1 m/sec
Langsame Fasern:	N.ulnaris:	V_1 = 42,3-50,0 ($\bar{v}_1$=46,7)m/sec
	N.medianus:	V_1 = 47,0-52,2 ($\bar{v}_1$=49,1)m/sec
Differenz:	N.ulnaris:	dV = 10,5-14,4 ($\bar{dV}$=12,8)m/sec
	N.medianus:	dV = 12,5-15,9 ($\bar{dV}$=13,9)m/sec

IV. Diskussion:

A. Kritik der Methode:

Für die Bestimmung der Meßfehlerbreite der NLG und der Streuung zwischen den schnellen und langsamen Fasern müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

1. Die Latenzzeit für die Muskelpotentiale.
2. Bestimmung der Reizverzögerung von Reiz zwei.
3. Ausmessen der Abstände zwischen den Reizelektroden.

Die durchschnittliche Meßstrecke zwischen den Reizelektroden betrug 40 cm und konnte auf 1 cm genau bestimmt werden, was einer Genauigkeit von 2,5% entspricht; die Reizverzögerung, etwa 9 msec für die langsamsten , 7 msec für die schnellsten Fasern, ließ sich auf 0,2 msec genau feststellen, also mit einer Genauigkeit von 2,2% bzw. 2,9%. Die Latenzzeit der Muskelpotentiale, durchschnittlich 9 msec bei Berücksichtigung aller Messungen an den vier Nerven, auf 0,1 msec genau, was 1,1% entspricht.

Daraus ergibt sich eine Gesamtfehlerbreite von 1,1% für die NLG der schnellsten Fasern, 3,3% für die langsamsten Fasern und 3,5% für die Streuung zwischen den schnellsten und langsamsten Fasern.

Wenn die von Reiz eins in "antidromer" Richtung verlaufende Erregung die Reizstelle zwei erreicht, ist die Nervenfaser für kurze Zeit für einen zweiten Reiz unerregbar. Deshalb muß in den Berechnungen die Refraktärzeit mitberücksichtigt werden. Nervenfasern mit annähernd gleicher NLG haben etwa dieselben Refraktärzeiten (LORENTE DE NO' 1935). Sie wird mit 0,5 - 1,0 msec angegeben (FULTON 1952, LORENTE DE NO' 1935). In dieser Arbeit wurden für sämtliche Nervenfasern 0,5 msec berücksichtigt.

Bei der Kontrollmessung der schnellen Fasern besteht eine gewisse Schwierigkeit darin, den Beginn der abfallenden Amplitudenmaxima zu bestimmen, ebenso den Zeitpunkt des völligen Verschwindens der zweiten Potentialkurve. Wie schon beschrieben, fallen die Amplitudenmaxima im Verlauf einer Expotential-Kurve S-förmig ab. Da die für die Bestimmung der maximalen Reizantwort entscheidenden Punkte gerade im Bereich des oberen, flach verlaufenden Teils dieser Kurve liegen, sind hier je nach der Art des Ablesens geringe Schwankungen unvermeidbar. Bei den Versuchen dieser Arbeit wurde für die Bestimmung der langsamsten Fasern der Punkt gewählt, an dem erstmals eine Verkleinerung der Amplitude zu erkennen war und für die Kontrollmessung der schnellsten Fasern der Punkt, an dem die zweite Potentialkurve eben noch sichtbar war.

Gelegentlich waren, wie auch bei HOPF (1962) beschrieben, bei Ableitung des Potentials vom Hypothenar (N.ulnaris) und Thenar (N.medianus) Einflüße von Muskelgruppen sichtbar, die nicht von dem eben gereizten Nerven innerviert wurden. Dies äußerte sich in einem zusätzlichen Potential vor der zweiten Reizantwort oder in der Überlagerung mit dieser. In diesen Fällen wurde die Messung nicht berücksichtigt.

Die percutane Ableitung des Muskelpotentials mit Plättchenelektroden gibt einen ausreichenden quantitativen Überblick über die Menge der aktivierten Einheiten (ESSLEN und MAGUN 1958).

Die Abstände der beiden Reizelektroden waren mit 40 cm so groß gewählt, daß eine Überlagerung des zweiten Potentials durch Nachschwankungen der ersten nicht möglich war.

KATZ und SCHMITT (1940) und weitere Autoren stellten bei Untersuchungen von isolierten Nervenfasern bei Tieren elektrische Wechselwirkungen zwischen benachbarten Fasern fest, die einen Einfluß auf die Leitgeschwindigkeiten ausüben. Dieser Effekt scheint jedoch beim Nerven in situ keine Bedeutung zu haben (ESPLIN 1962). Untersuchungen dieses Phänomens an menschlichen Nerven liegen nicht vor.

B. Besprechung der Versuchsergebnisse:

Bei der Messung der NLG ergeben sich Werte, die in relativ weiten Grenzen streuen. Dies ist verständlich, wenn man berücksichtigt, wie viele Faktoren einen Einfluß auf die NLG besitzen:

Die Durchmesser der Fasern, vor allem der Myelinscheiden, stehen in direktem Zusammenhang mit der NLG (GASSER und ERLANGER 1927, BERRY, GRUNDFEST und HINSEY 1944). Mit zunehmendem Alter -sieht man von den ersten Lebensjahren, in denen sich die Myelinscheiden erst vollständig ausbilden müssen, absinkt die NLG. Nach WAGMAN und LESSE (1952) hat sie ihren höchsten Wert um das 10. Lebensjahr herum. Auch in den eigenen Ergebnissen liegen die Geschwindigkeiten in der Gruppe II (10 - 20 J.) bei allen vier untersuchten Nerven im Durchschnitt etwas höher als in der Gruppe I (21 - 30 J.)

Sehr stark verändern Temperaturunterschiede die NLG. HENDRIKSEN (1956) fand eine lineare Abnahme der Leitgeschwindigkeit um 2,4 m/sec für 1°C Temperaturerniedrigung in dem umgebenen Gewebe (gültig zwischen 29 und 38°C). Weitere Einflüsse auf die NLG sind: Schwankungen im Tagesrhythmus, Unterschiede im Geschlecht, Durchblutung der Extremitäten und Ermüdung des Nerven.

Die Ergebnisse der eigenen Untersuchungen der schnellen Fasern stimmen weitgehend mit den in der Literatur bekannten überein. Zum Vergleich seien diese hier tabellarisch angegeben:

N.ulnaris:

Untersucher	distale Strecke (m/sec)	proximale Strecke (m/sec)
Bolzani u. Mit. 1954	63,0	54,0
Corbat 1961		52,3 ± 5,1
Drechsler u. Mit. 1963		56,18± 4,55
Gilliatt u. Mit. 1960		54,5 ± 5,5
Hodes u. Mit. 1948		64,0
Kredba u. Mit. 1964		59,78± 2,08
Kyral 1963		55,6 ± 0,5
Mayer 1962	65,0	58,0
Pinelli u. Mit. 1961	65,90±5,4	63,9 ± 7,0
Poloni u. Mit. 1962	60,06±0,9	54,27± 0,66
Redford 1958	62,1	57,5
Spiegel u. Mit. 1962	60,3	63,2
Škorpil u. Mit. 1963 b		61,1 ± 4,5
Thomas u. Mit. 1959		56,2
Trojaberg 1960	63,40±1,1	56,7 ± 0,9
Wagmann, Lesse 1952		58,4 ± 4,28

N.medianus:

Untersucher	distale Strecke (m/sec)	proximale Strecke (m/sec)
Hendriksen 1956		58,5
Hodes u. Mit. 1948		63,0
Mavor u. Mit. 1962	71,1	60,1
Mayer 1962	65,0	58,0
Redford 1958	64,5	60,5
Thomas 1960	59,8	57,5
Thomas u. Mit. 1959		57,2 ± 4,2
Trojaberg 1960	67,9±1,6	56,1 ± 0,9

N.peroneus:

Untersucher	distale Strecke (m/sec)	proximale Strecke (m/sec)
Doutlik u. Škorpil 1965		50,9 ± 2,9
Hendriksen 1956		51,2

Hodes 1949	56,6 ± o,91
Johnson u. Olsen 196o	5o,1 ± 7,2
Mayer 1962	5o,o
Miglietti u. Löwenthal 1962	47,6
Skorpil u. Kolman 1961 b	52,3 ± 4,54
Thomas u. Mit. 1959	49,7 ± 7,1
Trojaberg 196o	49,6 ± o,9

N.tibialis

Untersucher	NLG (m/sec)
Arrigo u. Mit. 1962	43,3 ± 3,o
Doutlik u. Skorpil 1965	45,9 ± 2,9
Erbslöh 1963	48,9 ± 4,8
Hodes 1949	51,7 ± o,39
Johnson u. Olsen 196o	5o,2 ± 9,3
Kyral 1964	44,5 ± 4,13
Mayer 1962	48,o
Skorpil u. Kolman 1961 b	43,8 ± 2,o4
Thomas u. Mit. 1959	43,2 ± 4,9

In nahezu allen Untersuchungen der NLG des N.medianus und des N.ulnaris im distalen und proximalen Abschnitt ergeben sich höhere Werte für die proximale Strecke. Diese konnten auch in der eigenen Arbeit bestätigt werden. Die Ursache hierfür ist nicht eindeutig klar. Anatomische Gründe (allmähliche Abnahme des Durchmessers der Fasern zur Peripherie hin -was allerdings von REXED (1944) nicht bestätigt werden konnte-, Verkürzung der Internodien (LEHMANN 195o,51)) werden hierfür verantwortlich gemacht.

Die Kontrollmessungen der NLG der schnellen Fasern nach dem Prinzip der "antidromen" Reizleitung stimmt gut mit den nach der üblichen Methode bestimmten überein. Beim Vergleich ergeben sich folgende Fehler in % (in Klammern Gruppe II):

N.ulnaris	1,9 (2,1) %
N.medianus	2,8 (2,0) %
N.peroneus	3,5 (0,8) %
N.tibialis	0,9 (4,8) %

Für die Geschwindigkeiten der langsamen Fasern des N.ulnaris geben ŠKORPIL und ZVĚŘINA (1963a, 1965) folgende Werte an:

Nach der Methode von HOPF: 43,3 ± 2,9 m/sec, nach der Methode von THOMAS (1959): 37,7 ± 7,1 m/sec.

Die in den eigenen Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse stimmen recht genau mit denen von ŠKORPIL und ZVĚŘINA nach der Methode HOPF gefundenen überein. (N.ulnaris: 44,8 ± 3,58 (43,1 ± 3,54)).

Über die Streuung zwischen den schnellen und langsamen Fasern existieren mehrere Untersuchungen. Sie wurden, wie anfangs beschrieben, zum Teil nach verschiedenen Methoden durchgeführt. Allerdings betreffen sie nur den N.ulnaris, für die übrigen Nerven sind in der Literatur keine Angaben zu finden.

BOLZANI (1954) erhielt aus dem Vergleich der unterschiedlichen Dauer der Muskelpotentiale bei verschiedener Entfernung des Reizpunktes eine Streuung von 2 - 11 m/sec, POLONI und SALA (1961) geben nach derselben Methode Streuungen von über 15 m/sec an. Sie haben dabei mit koaxialen Nadelelektroden abgeleitet. Diese greifen die elektrischen Vorgänge eines nur relativ kleinen Anteils der motorischen Einheiten ab. Nach ihren eigenen Angaben ist diese Methode ungenau.

HOPF (1962) führte nach der von ihm entwickelten und auch in dieser Arbeit angewandten Methode Untersuchungen am N.ulnaris durch und erhielt dabei eine Streuung von 4 - 7 m/sec. Diese Werte, die an nur 20 Versuchspersonen ermittelt wurden, erscheinen außerordentlich niedrig. Bei einer Verlaufsmessung im Rahmen dieser Arbeit änderte

sich bei derselben Versuchsperson die Streuung bei einem Mittelwert von 12,8 m/sec bereits um einen Betrag von 3,9 m/sec.

Es ist möglich, daß die zuvor erwähnten Schwankungen bei der Bestimmung des ersten Punktes der abfallenden Amplitudenmaxima mit zu den unterschiedlichen Werten beiträgt. Einen geringen Einfluß mag auch die Tatsache haben, daß in dieser Arbeit nur junge Versuchspersonen herangezogen wurden, die offensichtlich eine größere Streuung aufweisen (vergleiche Ergebnisse von Gruppe I und II).

ŠKORPIL und ZVĚŘINA (1963a, 1965) haben nach der Methode von HOPF ebenfalls am N.ulnaris systematische Untersuchungen an 36 Personen durchgeführt und dabei für die Streuung einen Wert von 16,8 m/sec erhalten. Sie untersuchten weiterhin nach den Methoden von BOLZANI und THOMAS. Bei der Versuchsanordnung nach THOMAS ergab sich eine Streuung von 22,4 m/sec. Nach Ansicht von ŠKORPIL (1965) ist diese Methode aber weniger zuverlässig aus folgenden Gründen:

a) Es ist schwierig, die Dauer der Blockierung in der letzten Phase genau zu bestimmen;
b) Es ergeben sich zu hohe Werte für die Streuung;
c) Die Blockierung verringert die Amplitude und verlängert die Latenzzeit, ähnlich, wie es der Fall ist, wenn die Reizintensität erniedrigt und der Nerv an einem Punkt gereizt wird. So werden möglicherweise bei dieser Methode zwei verschiedene Prinzipien vermischt.

Nach der Methode von BOLZANI (1954) und POLONI und SALA (1961) erhielten ŠKORPIL und ZVĚŘINA keine auswertbaren Ergebnisse.

ŠKORPIL (1965) hält die Methode nach HOPF für die zuverlässigste. Der Vorzug liegt darin, daß Anfang und Ende der Blockierung der Nervenfaser genau auf einer mit dem

Stimulator gekoppelten Skala abgelesen bzw. abfotografiert werden können. Die zunehmende Blockierung wird aus der Beziehung der Reizabstände und der Amplitude der verkleinerten Potentiale ersichtlich. Daraus kann man auch noch quantitative Schlüsse ziehen über die zahlenmäßige Stärke der einzelnen verschieden schnell leitenden Nervenfasergruppen.

Die NLG und die Streuung der schnellen und langsamen Fasern, die man auf diese Weise erhält, kann man in Beziehung setzen zu den anatomischen Untersuchungsergebnissen von REXED (1944). Danach bestehen die ventralen Nervenwurzeln, die die menschliche Hand versorgen, aus Fasern, die in der Mehrzahl einen Durchmesser von 8 - 11 μ die größten sogar von 12 - 16 μ , aufweisen.

V. Zusammenfassung:

Es wurden an zwei Versuchsgruppen (Gruppe I: 21-30 Jahre, Gruppe II: 10-20 Jahre) elektromyografische Untersuchungen zur Bestimmung von Normwerten für die Nervenleitgeschwindigkeit (NLG) der schnellen Fasern, der langsamen Fasern und für die Differenz zwischen schnellen und langsamen Fasern durchgeführt. Die Messungen wurden an den Nervi ulnaris, medianus, peroneus und tibialis vorgenommen.

Für die schnellen Fasern ergaben sich folgende Werte (Versuchsgruppe II in Klammern):

N.ulnaris,	proximaler Abschnitt:	59,2 (58,8) m/sec
	distaler Abschnitt:	56,2 (57,5) m/sec
	Gesamte Meßstrecke:	57,0 ± 3,20 m/sec
		(57,6 ± 3,89 m/sec)
N.medianus,	proximaler Abschnitt:	62,9 (65,2) m/sec
	distaler Abschnitt:	58,1 (58,0) m/sec
	Gesamte Meßstrecke:	59,8 ± 3,34 m/sec
		(60,2 ± 3,59 m/sec)
N.peroneus:		37,4 ± 2,31 m/sec
		(37,0 ± 3,81 m/sec)
N.tibialis:		37,7 ± 3,06 m/sec
		(38,3 ± 3,06 m/sec)

Diese Werte stimmen mit den in der Literatur bekannten überein.

Es wurden weiterhin nach der von HOPF(1962) beschriebenen Methode die NLG der langsamen Fasern an denselben Nerven durchgeführt:

N.ulnaris: 44,8 ± 3,58 m/sec (43,1 ± 3,54 m/sec)
N.medianus: 47,7 ± 4,28 m/sec (45,5 ± 4,09 m/sec)
N.peroneus: 37,4 ± 2,31 m/sec (37,0 ± 3,81 m/sec)
N.tibialis: 37,7 ± 3,06 m/sec (38,3 ± 3,06 m/sec)

Eine ebenfalls nach der von HOPF angegebenen Methode durchgeführte Kontrollmessung der schnellen Fasern ergab Werte, die mit den nach der üblichen Methode gemessenen übereinstimmen.

Die Normwerte für die Differenz der NLG aus schnellen und langsamen Fasern betrugen:

N.ulnaris: 12,2 ± 3,50 m/sec (14,5 ± 3,72 m/sec)
N.medianus: 11,9 ± 3,42 m/sec (14,7 ± 3,40 m/sec)
N.peroneus: 9,8 ± 2,62 m/sec (11,6 ± 3,03 m/sec)
N.tibialis: 8,8 ± 2,70 m/sec (9,2 ± 3,94 m/sec)

Diese Werte stimmen mit den von HOPF (1962) für den N.ulnaris angegebenen nicht überein. HOPF hatte eine Streubreite von 4-7 m/sec gefunden. Auf die möglichen Ursachen für diese Diskrepanz wurde in der "Besprechung der Versuchsergebnisse" eingegangen.

Für die NLG der langsamen Fasern und die Differenz aus schnellen und langsamen Fasern der Nervi medianus, peroneus und tibialis existieren in der Literatur noch keine Normwerte.

Anhand einer Verlaufsmessung wurde gezeigt, welchen Schwankungen die NLG-Werte bei derselben Versuchsperson unterliegen. Die graphische Auswertung der einzelnen Versuchsergebnisse ergab einen Gauß'schen Verteilungsmodus.

Die Bedeutung der Normwerte für den klinischen Bereich besteht darin, dass man sie zur Diagnostik peripherer Nervenerkrankungen anwenden kann, da sowohl die NLG der schnellen und langsamen Fasern, als auch die Differenz aus schnellen und langsamen Fasern im Falle einer Erkrankung des Nerven wesentliche Veränderungen aufweisen (HOPF 1963).

VI Tabellen

Legende zu den Tabellen:

V_1: Geschwindigkeit der schnellen Fasern im proximalen Abschnitt.

V_2: Geschwindigkeit der schnellen Fasern im distalen Abschnitt.

V_s: Geschwindigkeit der schnellen Fasern im Verlauf der gesamten Meßstrecke, also zwischen proximalem und distalem Reizpunkt.

$V_{s'}$: Geschwindigkeit der schnellen Fasern, ermittelt nach dem Prinzip der antidromen Erregungsleitung (Kontrollmessung).

V_1: Geschwindigkeit der langsamen Fasern, ebenfalls ermittelt nach Prinzip der antidromen Erregungsleitung.

dV: Differenz aus schnellen und langsamen Nervenfasern, (also: $dV = V_s - V_1$).

Die Messung von $V_{s'}$ wurde zu Beginn der Versuchsreihe noch nicht durchgeführt.

Tabelle I:

Zusammenfassung der Ergebnisse:

Versuchsgruppe I (21-30 J.)

Nerv	N.ulnaris	N.medianus	N.peroneus	N.tibialis
Alter	24,8	24,6	24,8	24,5
V_1 (m/sec)	59,2	62,9	-	-
V_2 (m/sec)	56,2	58,1	-	-
V_s (m/sec)	57,0	59,8	47,2	46,6
V_s' (m/sec)	55,9	58,1	46,2	47,0
V_1 (m/sec)	44,8	47,7	37,4	37,7
dV (m/sec)	12,2	11,9	9,8	8,8

Versuchsgruppe II (10-20 J.)

Nerv	N.ulnaris	N.medianus	N.peroneus	N.tibialis
Alter	15,5	15,7	15,3	15,8
V_1 (m/sec)	58,0	65,2	-	-
V_2 (m/sec)	57,7	58,0	-	-
V_s (m/sec)	57,6	60,2	48,6	47,6
V_s' (m/sec)	56,4	59,0	48,2	49,9
V_1 (m/sec)	43,1	45,5	37,0	38,3
dV (m/sec)	14,5	14,7	11,6	9,2

Tabelle II:

Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse:

Versuchsgruppe I:

Nerv		$\bar{x}$ (m/sec)	s (m/sec)	$s_{\bar{x}}$ (m/sec)
N.ulnaris	V_s	57,0	3,20	0,457
	V_1	44,8	3,58	0,511
	dV	12,2	3,50	0,495
N.medianus	V_s	59,8	3,34	0,467
	V_1	47,7	4,28	0,605
	dV	11,9	3,42	0,487
N.peroneus	V_s	47,2	3,40	0,486
	V_1	37,4	2,31	0,330
	dV	9,8	2,62	0,374
N.tibialis	V_s	46,6	3,30	0,673
	V_1	37,7	3,06	0,624
	dV	8,8	2,70	0,411

$\bar{x}$ = Mittelwert

s = Standardabweichung

$s_{\bar{x}}$ = mittlerer Fehler des Mittelwerts

Tabelle III:

Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse:

Versuchsgruppe II:

Nerv		$\bar{x}$ (m/sec)	s (m/sec)	$s_{\bar{x}}$ (m/sec)
N.ulnaris	V_s	57,6	3,89	0,794
	V_1	43,1	3,54	0,722
	dV	14,5	3,72	0,744
N.medianus	V_s	60,2	3,95	0,733
	V_1	45,5	4,09	0,835
	dV	14,7	3,40	0,693
N.peroneus	V_s	48,6	3,36	0,686
	V_1	37,0	3,81	0,778
	dV	11,6	3,03	0,618
N.tibialis	V_s	47,6	3,30	0,673
	V_1	38,3	3,06	0,624
	dV	9,2	3,94	0,820

$\bar{x}$ = Mittelwert

s = Streuung der Einzelwerte (Standardabweichung)

$s_{\bar{x}}$ = mittlerer Fehler des Mittelwerts

Tabelle IV

N.ULNARIS: Gruppe I

	Name	Alter (Jahre)	V_1 (m/sec)	V_2 (m/sec)	V_s (m/sec)	$V_{s'}$ (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
1	R.Sch.	27	61,7	59,0	60,0	58,2	45,8	14,2
2	J.L.	25	63,5	50,0	53,0	54,8	45,0	8,0
3	W.Sch.	24	71,7	57,0	60,0	56,0	43,0	17,0
4	E.H.	25	56,5	54,0	55,6		45,6	10,0
5	F.H.	25	53,6	56,2	55,3		47,8	7,5
6	E.B.	27	54,5	65,0	60,8	58,0	43,0	17,8
7	M.W.	26	50,0	55,0	53,7	53,0	40,3	13,4
8	L.We.	25	50,1	53,9	52,7	53,3	44,0	8,7
9	B.St.	22	61,7	57,8	58,6	55,3	44,7	13,9
10	F.M.	23	59,0	51,5	53,8	55,8	43,5	10,3
11	H.St.	24	62.0	57,3	58,3		46,7	11,6
12	W-D.K	25	57,8	55,0	55,8		46,7	9,1
13	A.Cr.	26	63,5	58,7	60,0		44,2	15,8
14	U.Ul.	27	62,5	56,8	58,0		44,2	13,8
15	Ch.W.	26	63,5	62,3	63,5		55,5	8,0
16	U.W.	22	64,5	60,0	61,0		47,0	14,0
17	F.Be.	23	63,2	55,4	57,4		47,3	10,1
18	E.Sch.	21	70,3	53,3	57,6	55,2	44,2	13,4
19	V.Sch.	27	56,7	54,5	55,0		46,2	8,8
20	S.N.	26	59,0	57,0	57,8		48,1	9,7
21	N.H.	24	57,5	56,0	56,7	54,5	45,3	11,4
22	M.D.	26	71,5	63,0	65,0		49,5	15,5
23	W.A.	23	68,3	56,3	59,2	62,0	47,3	11,9
24	M.We.	24	61,3	58,3	59,2	56,8	43,0	16,2
25	R.S.	28	60,0	58,5	59,2	54,5	41,5	17,7
26	B.M.	23	51,8	56,8	54,7	53,5	43,2	11,5

Tabelle V — N.ULNARIS: Gruppe I

	Name	Alter (Jahre)	V_1 (m/sec)	V_2 (m/sec)	V_s (m/sec)	$V_{s'}$ (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
27	W.H.	23	55,3	55,2	55,2	54,5	41,6	13,6
28	R.Kl.	21	58,5	55,7	56,7	52,8	38,9	17,8
29	B.W.	24	55,0	55,7	55,4		48,0	7,4
30	W.Zi.	26	55,0	59,0	57,4		49,3	8,1
31	H.Bü.	24	67,0	65,0	65,5		51,5	14,0
32	D.Sch.	26	62,7	53,0	55,0		46,7	8,3
33	W.Mö.	24	51,3	53,3	52,0	47,0	40,2	11,8
34	H-B.W.	25	49,3	58,7	55,3	57,9	48,2	7,1
35	H.H.	25	64,7	45,7	51,0	51,7	40,0	11,0
36	F.He.	23	58,0	56,0	56,7	56,9	45,4	11,3
37	K.Ei.	23	57,2	54,5	56,5	57,7	48,3	8,2
38	A.K.	26	59,2	60,0	59,7	57,0	43,7	16,0
39	L.B.	26	57,8	44,5	51,0		47,0	4,0
40	R.Ho.	23	57,0	56,7	56,8	59,0	45,2	11,6
41	A-V.Be.	25	54,5	53,8	54,0	56,2	39,4	14,6
42	W.Bu.	23	57,2	56,8	56,9	61,0	44,3	12,6
43	I.M.	23	56,7	59,0	58,1	55,7	39,0	19,1
44	M.Br.	26			55,8	58,9	43,3	12,5
45	R.Gm.	24	54,7	51,0	51,9	53,0	37,4	14,5
46	U.Kn.	28	59,3	56,8	58,0	59,3	50,0	8,0
47	B.Li.	25	54,3	52,8	53,3	49,5	38,5	14,8
48	D.R.	25	65,0	59,2	61,0	60,0	42,5	18,5
49	K-V.F.	23	60,8	56,0	57,5	59,0	43,2	14,3
50	C.Lü.	25	56,4	56,6	56,5	58,8	46,3	10,2

Tabelle VI: N.MEDIANUS: Gruppe I

Name	Alter (Jahre)	V_1 (m/sec)	V_2 (m/sec)	V_s (m/sec)	V_s' (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
1 R.Sch.	27	62,0	57,7	59,3		48,5	10,8
2 J.L.	25	70,0	60,0	63,7	62,2	52,2	11,5
3 W.Sch.	24	64,0	57,0	59,3	57,3	45,3	14,0
4 E.H.	25	60,0	59,2	59,7		53,8	5,9
5 F.H.	25	64,3	58,7	60,2	61,5	52,4	7,8
6 E.B.	27	62,0	60,1	60,7	59,7	50,6	10,1
7 M.W.	26			59,8	57,0	42,5	17,3
8 L.We.	25	62,2	60,2	60,8	59,0	48,2	12,6
9 B.St.	22	66,0	61,3	63,0	63,3	51,3	11,7
10 F.M.	23	55,2	55,2	55,2	56,7	46,8	8,4
11 H.St.	24	52,2	62,0	59,8		45,7	14,1
12 W-D.K.	25	65,4	59,0	61,1		52,0	9,1
13 A.Cr.	26	56,7	57,7	57,4		45,8	11,6
14 U.Ul.	27	63,0	61,0	61,7		57,2	4,5
15 Ch.W.	26	76,1	57,0	62,5		51,7	10,8
16 U.W.	22	71,3	59,2	62,5		51,0	11,5
17 F.Be.	23	64,8	54,0	57,0		48,4	8,6
18 E.Sch.	21	62,5	56,8	59,2		50,2	9,0
19 V.Sch.	27	65,0	58,2	59,5		45,0	14,5
20 S.N.	26	63,8	61,3	62,0		47,0	15,0
21 N.H.	24	69,0	56,0	58,7	56,2	48,7	10,0
22 M.D.	26	78,7	62,5	66,8		54,0	12,8
23 W.A.	23	72,3	60,3	63,5	57,5	47,7	15,8
24 M.We.	24	50,0	66,1	59,5	53,5	43,7	15,8
25 R.S.	28	62,0	65,4	64,3	63,4	48,6	15,7
26 B.M.	23	53,7	60,7	58,7	54,6	42,7	16,0

Tabelle VII: N.MEDIANUS: Gruppe I

	Name	Alter (Jahre)	V_1 (m/sec)	V_2 (m/sec)	V_s (m/sec)	$V_{s'}$ (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
27	W.H.	23	58,7	59,4	59,2	58,5	43,9	15,3
28	R.Kl.	21	59,7	55,2	56,5	55,8	40,0	16,5
29	B.W.	24	53,5	56,7	55,2		46,8	8,4
30	W.Zi.	26	65,8	50,5	54,5		43,3	11,2
31	H.Bü.	24	68,6	61,6	63,7		51,5	12,2
32	D.Sch.	26	69,3	63,3	65,2		54,2	11,0
33	W.Mö.	24	51,8	59,0	56,3	57,0	48,8	7,5
34	H-B.W.	25	55,3	61,3	58,8	58,0	52,6	6,2
35	H.H.	25	78,4	48,6	58,0	61,5	52,0	6,0
36	F.He.	23	57,3	63,0	61,2	58,8	44,5	16,7
37	K.Ei.	23	63,5	61,5	62,2	65,0	56,0	6,2
38	A.K.	26	67,5	65,3	66,2		41,7	14,5
39	L.B.	26	51,3	46,7	48,0		40,7	7,3
40	R.Ho.	23	67,5	50,0	54,7	54,1	45,7	9,0
41	A-V.B.	25	61,3	57,8	58,8	56,5	45,0	13,8
42	W.Bu.	23	61,5	58,2	59,2	57,0	44,7	14,5
43	I.M.	23	63,7	55,7	56,5	52,0	41,0	15,5
44	M.Br.	26			61,0	62,0	49,5	11,5
45	R.Gm.	24	55,7	57,5	56,5	54,7	42,3	14,2
46	D.Ra.	24	72,3	51,5	61,2		50,6	10,6
47	B.Li.	25	63,0	57,3	59,2	56,1	43,2	16,0
48	D.R.	25	64,3	55,5	57,2	53,3	41,1	16,1
49	K-V.F.	23	64,0	60,7	61,8	58,0	45,9	15,9
50	C.L.	25	63,5	59,4	60,7	59,0	46,5	14,2
51	S.M-L	25	68,8	59,8	63,0	61,2	50,8	12,2

Tabelle VIII: N.PERONEUS: Gruppe I

	Name	Alter (Jahre)	V_s (m/sec)	$V_{s'}$ (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
1	R.Sch.	27	48,7	50,0	40,5	8,2
2	J.L.	25	47,0	47,3	36,0	11,0
3	W.Sch.	24	49,0	47,8	40,2	8,8
4	E.H.	25	45,5		36,2	9,3
5	F.H.	25	53,0	50,2	38,2	14,8
6	E.B.	27	48,5	42,8	37,0	11,5
7	M.W.	26	40,8	39,3	32,7	8,1
8	C.Lü.	25	49,8	50,8	40,2	9,7
9	B.St.	22	48,2	49,0	34,7	13,5
10	H.St.	24	46,3		37,9	8,4
11	F.M.	23	45,7	46,3	36,2	9,5
12	W-D.K.	25	44,6		34,0	10,6
13	A.Cr.	26	47,6		36,8	10,8
14	U.Ul.	27	49,6		35,8	13,8
15	Ch.W.	26	50,0		39,0	11,0
16	U.W.	22	45,0		34,2	10,8
17	F.Be.	23	53,0		43,8	9,2
18	E.Sch.	21	50,8	50,2	41,0	9,8
19	V.Sch.	27	50,8		39,8	11,0
20	S.N.	26	49,0		37,5	11,5
21	N.H.	24	47,2	46,5	39,2	8,0
22	M.D.	26	57,3		52,3	5,0
23	W.A.	23	49,3	52,3	43,5	5,8
24	M.We.	24	50,0	46,5	37,0	13,0
25	R.S.	28	50,0	53,5	44,7	5,3

Tabelle IX: N.PERONEUS: Gruppe I

	Name	Alter (Jahre)	V_s (m/sec)	$V_{s'}$ (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
26	B.M.	23	46,2	45,0	36,4	9,8
27	W.H.	23	44,3	43,0	30,0	14,3
28	R.Kl.	21	45,3	44,9	34,2	11,1
29	B.W.	24	46,4		37,6	8,8
30	W.Zi.	26	48,8		43,8	5,0
31	H.Bü.	24	50,7		39,5	11,2
32	D.Sch.	26	49,3		39,5	9,8
33	W.Mö.	24	49,0	48,8	40,0	9,0
34	H-B.W.	25	46,0	43,5	37,0	9,0
35	H.H.	25	42,7	41,3	33,8	8,9
36	K-V.F.	23	45,5	42,3	29,7	15,8
37	K.Ei.	23	45,2	44,0	34,8	10,4
38	A.K.	26	49,3	48,7	37,4	11,9
39	L.B.	26	40,8	42,0	36,1	4,7
40	R.Ho.	23	46,0	45,1	37,0	9,0
41	A-V.B.	25	47,0	49,9	35,0	12,0
42	W.B.	23	44,5	42,5	34,4	10,1
43	I.M.	23	46,0	44,3	39,3	6,7
44	M.Br.	26	43,5	45,6	35,8	7,7
45	R.G.	24	47,5	45,8	33,6	13,9
46	U.Kn.	28	47,2	49,4	40,0	7,2
47	B.Li.	25	45,0	48,6	39,0	6,0
48	D.R.	25	37,5	39,0	25,5	12,0
49	D.Ra.	24	43,1		33,8	9,3

Tabelle X: N.TIBIALIS: Gruppe I

	Name	Alter (Jahre)	V_s (m/sec)	$V_{s'}$ (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
1	R.Sch.	27	48,8	48,2	37,0	11,8
2	J.L.	25	48,2	43,8	32,0	16,2
3	W.Sch.	24	49,5	50,2	39,8	9,7
4	E.H.	25	44,2		38,5	5,7
5	F.H.	25	51,8	53,0	41,5	10,3
6	E.B.	27	45,8	45,8	36,5	9,3
7	C.Lü.	25	48,8	50,0	40,3	8,5
8	L.We.	25	47,5	46,5	37,8	9,7
9	B.St.	22	46,0	45,7	39,2	6,8
10	K-V.F.	23	42,0	48,2	34,9	7,1
11	H.St.	24	47,8		40,8	7,0
12	W-D.K.	25	42,3		35,0	7,3
13	D.Ri.	25	45,5	44,5	33,5	12,0
14	U.Ul.	27	45,8		36,6	9,2
15	Ch.W.	26	51,0		40,3	10,7
16	D.Ra.	24	50,3		42,3	8,0
17	F.Be.	23	50,7		43,7	7,0
18	E.Sch.	21	44,2	43,0	35,0	9,2
19	V.Sch.	27	37,8		35,4	2,4
20	S.N.	26	51,8		42,7	9,1
21	N.H.	24	46,4	47,7	37,7	8,7
22	M.D.	26	58,2		46,7	11,5
23	W.A.	23	52,0	51,6	40,8	11,2
24	M.We.	24	46,6	46,3	37,0	9,6
25	R.S.	28	48,0	48,7	37,0	11,0

Tabelle XI: N.TIBIALIS: Gruppe I

	Name	Alter (Jahre)	V_s (m/sec)	$V_{s'}$ (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
26	B.M.	23	43,7	42,1	34,8	8,9
27	W.H.	23	43,7	41,6	34,2	9,5
28	R.Kl.	21	41,0	47,2	38,2	2,8
29	B.W.	24	43,0		38,8	4,2
30	B.Li.	25	46,3	45,0	34,0	12,3
31	U.Kn.	28	46,5	45,7	38,0	8,5
32	D.Sch.	26	47,4		39,3	8,1
33	W.Mö.	24	47,8	51,2	42,0	5,8
34	R.Gm.	24	44,0	46,3	35,4	8,6
35	H.H.	25	46,2		35,0	11,2
36	F.He.	23	45,7	42,5	32,0	13,7
37	K.Ei.	23	42,2	44,5	35,4	6,8
38	M.Br.	26	43,2	45,4	35,3	7,9
39	L.B.	26	49,2	50,6	37,0	12,2
40	R.Ho.	23	48,8	51,8	40,0	8,8
41	W.B.	23	44,0	46,7	35,5	8,5
42	I.M.	23	41,3	44,7	32,0	9,7
43	S.M-L.	25	46,7	50,7	41,5	5,2

Tabelle XII: N.ULNARIS: Gruppe II

	Name	Alter (Jahre)	V_1 (m/sec)	V_2 (m/sec)	V_s (m/sec)	V_s' (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
1	H.K.	11	57,7	56,5	56,8	53,2	37,7	19,1
2	T.K.	14	57,2	56,5	56,8	56,8	51,8	5,0
3	E.Be.	13	65,0	65,7	65,5		44,5	21,0
4	J.Fr.	13	63,8	62,5	63,7		47,0	16,7
5	G.M.	11	58,5	59,3	59,0	56,2	42,0	17,0
6	U.Fi.	13	54,5	61,7	58,7	54,7	44,2	14,5
7	M.Be.	14			52,2	52,1	39,0	13,2
8	D.Sch.	20	65,2	60,7	62,2	63,0	47,8	14,4
9	F.Bl.	19	57,4	56,2	56,7	58,5	41,8	14,9
10	A.W.	18	58,3	56,4	57,0	58,0	46,6	10,4
11	C.St.	19	50,1	50,6	50,4	51,2	40,7	9,7
12	K.Eh.	19	56,0	55,5	55,6	55,7	43,3	12,3
13	G.P.	20	46,2	54,7	52,0	47,2	39,2	12,8
14	R.Ne.	15	55,8	52,3	53,7	50,7	39,7	14,0
15	H.Kü.	13	64,2	58,8	60,3	57,0	41,3	19,0
16	G.Kü.	15	52,0	52,0	52,0	50,0	39,8	12,2
17	W.A.	14	62,5	61,5	61,7	55,0	39,7	22,0
18	F.A.	15	52,7	55,3	54,5	57,1	41,3	13,2
19	O.Kö.	14	58,4	55,7	56,4	51,3	40,0	16,4
20	K-H.A.	17	55,0	56,5	56,1	59,7	42,2	13,9
21	B.Kü.	12	58,9	58,5	58,7	62,2	43,0	15,7
22	E.Kü.	16	59,6	62,3	61,3	64,3	50,0	11,3
23	R.Bö.	15	70,2	57,8	61,0	66,3	47,5	13,5
24	M.Kü.	18	56,3	55,1	55,5	57,0	42,7	12,8
25	U.Wi.	20	56,5	64,8	61,7	59,0	45,5	16,2

Tabelle XIII: N.MEDIANUS: Gruppe II

	Name	Alter (Jahre)	V_1 (m/sec)	V_2 (m/sec)	V_s (m/sec)	V_s' (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
1	H.K.	11	63,0	57,3	58,7	57,7	42,2	16,5
2	T.K.	14	66,6	53,5	57,2	53,8	39,6	17,6
3	E.Be.	13	65,0	61,0	62,3	58,2	47,3	15,0
4	U.Wi.	20	75,0	59,0	64,3	64,3	52,7	11,6
5	G.M.	11	73,3	65,8	68,1	69,4	54,0	14,1
6	U.Fi.	13	65,0	56,0	59,0	61,5	51,5	7,5
7	M.Be.	14	56,7	51,2	52,8	56,5	40,2	16,5
8	D.Sch.	20	65,8	61,3	62,9	60,2	45,6	17,3
9	F.Bl.	19	66,7	60,7	62,3	60,5	43,8	18,5
10	A.W.	18	62,0	60,0	60,7	63,8	49,5	11,2
11	C.St.	19	61,6	40,7	51,8	55,7	42,3	9,5
12	K.Eh.	19	65,7	62,2	63,4	58,2	42,8	20,6
13	G.P.	20	65,0	53,3	57,3	56,5	46,8	10,5
14	R.Ne.	15	63,0	55,4	58,6	53,0	45,2	13,4
15	H.Kü.	13	62,6	60,7	61,2	56,0	44,0	17,2
16	G.Kü.	15	63,7	53,1	56,2	54,6	41,6	14,6
17	W.A.	14	76,7	58,7	63,3	56,3	42,0	21,3
18	F.A.	15	68,3	55,3	59,2	58,2	44,8	14,4
19	O.Kö.	14	68,9	57,5	60,4	58,5	42,7	17,7
20	K-H.A.	17			60,7	60,7	44,5	16,1
21	B.Kü.	12	55,7	60,0	59,2	58,2	47,1	12,1
22	E.Kü.	16	65,0	62,7	63,3	65,3	50,7	12,6
23	R.Bö.	15	64,0	60,7	61,0	60,0	47,5	13,5
24	M.Kü.	18	60,9	58,2	59,1	58,3	44,8	14,3

Tabelle XIV: N.PERONEUS: Gruppe II

	Name	Alter (Jahre)	V_s (m/sec)	$V_{s'}$ (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
1	H.K.	11	47,7	49,2	34,5	13,2
2	T.K.	14	43,2	47,2	33,5	9,7
3	E.Be.	13	46,8	52,7	38,9	7,9
4	J.Fr.	13	58,7		46,8	11,9
5	G.M.	11	50,8	57,9	46,8	4,0
6	U.Fi.	13	49,8	51,5	41,8	8,0
7	M.Be.	14	45,1	45,1	35,2	9,9
8	U.Wi.	20	51,7	48,7	38,0	13,7
9	F.Bl.	19	50,0	50,8	39,7	10,3
10	A.W.	18	46,3	43,6	34,0	12,3
11	C.St.	19	47,7	47,2	31,9	15,8
12	K.Eh.	19	53,5	51,0	37,4	16,1
13	G.P.	20	44,8	44,6	35,0	9,8
14	R.Ne.	15	48,3	45,0	35,6	12,7
15	H.Kü.	13	52,7	47,7	37,7	15,0
16	G.Kü.	15	46,0	49,3	37,6	8,4
17	W.A.	14	47,0	44,5	33,2	13,8
18	F.A.	15	47,1	45,7	34,3	12,8
19	O.Kö.	14	48,0	48,7	37,0	11,0
20	K-H.A.	17	45,5	44,8	35,4	10,1
21	B.Kü.	12	50,9	47,6	37,4	13,5
22	E.Kü.	16	48,4	50,7	39,3	9,1
23	R.Bö.	15	49,3	44,5	32,5	16,8
24	M.Kü.	18	46,5	51,6	33,9	12,6

Tabelle XV: N.TIBIALIS: Gruppe II

	Name	Alter (Jahre)	V_s (m/sec)	$V_{s'}$ (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
1	H.K.	11	44,3	50,5	37,9	6,4
2	T.K.	14	43,6	46,3	36,4	7,2
3	E.Be.	13	50,0	52,0	41,0	9,0
4	J.Fr.	13	54,2	52,5	40,3	13,9
5	G.M.	11	49,3	54,7	41,6	7,7
6	U.Fi.	13	47,5	48,8	37,7	9,8
7	M.Be.	14	45,8	45,3	34,1	11,7
8	D.Sch.	20	47,8	53,0	41,7	6,1
9	F.Bl.	19	48,7	55,6	43,4	5,3
10	A.W.	18	44,8	48,6	38,8	6,0
11	C.St.	19	44,3	45,7	36,8	7,5
12	K.Eh.	19	56,7	53,3	38,0	18,7
13	G.P.	20	43,5	41,7	39,2	4,3
14	R.Ne.	15	48,3	47,3	37,4	10,9
15	H.Kü.	13	46,7	52,2	38,5	8,2
16	G.Kü.	15	46,0	49,3	40,3	5,7
17	M.Kü.	18	48,7	50,7	37,6	11,1
18	F.A.	15	45,1	48,7	38,4	6,7
19	O.Kö.	14	47,1	48,8	37,1	10,0
20	K-H.A.	17	47,7	53,9	40,8	6,9
21	U.Wi.	20	51,2		39,6	11,6
22	E.Kü.	16	50,6	54,2	40,5	10,1
23	R.Bö.	15	44,7	46,8	34,7	10,0
24	D.Schö.	20	44,9	44,4	28,4	16,5

Tabelle XVI:

Verlaufsmessung: W. Kirsten, 26 J.

N.ULNARIS:

Datum	V_s (m/sec)	$V_{s'}$ (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
15.1.68	61,5	62,3	48,8	12,7
16.1.	60,5	58,7	49,0	11,5
17.1.	60,2	57,8	48,3	14,0
18.1.	60,5	62,2	50,0	10,5
19.1.	55,5	54,7	42,3	13,2
20.1.	59,5	60,5	46,7	12,8
22.1.	57,1	56,2	43,7	13,4
23.1.	58,2	58,3	43,8	14,4
Mittelwerte	59,1	58,8	46,7	12,8

N.MEDIANUS:

Datum	V_s (m/sec)	$V_{s'}$ (m/sec)	V_1 (m/sec)	dV (m/sec)
15.1.68	65,0	67,0	52,2	12,5
16.1.	65,0	65,9	51,3	12,7
17.1.	61,7	59,1	47,7	14,0
18.1.	61,1	60,0	47,0	14,1
19.1.	63,9	63,1	48,7	15,2
20.1.	60,0	58,3	47,1	12,9
22.1.	62,9	62,3	47,0	15,9
23.1.	65,3	68,6	51,3	14,0
Mittelwerte	63,1	63,0	49,1	13,9

VII Graphische Auswertung (Verteilungskurven)

Legende zu Abb. 6 - 17:

Die Abbildungen 6 - 17 geben die Ergebnisse graphisch in Form von Verteilungskurven wieder.

Abb. 6 - 9: Schnelleitende Fasern (V_s).
Abb. 10-13: Langsamleitende Fasern (V_1).
Abb. 14-17: Differenz aus schnell- und langsamleitenden Fasern (dV).

Die obere Kurve (—▲—) gibt die Ergebnisse der Versuchsgruppe I (21 - 30 J.), die untere Kurve (-----x-----) die der Versuchsgruppe II (10 - 20 J.) wieder. Auf der Abszisse sind die Geschwindigkeiten (V_s und V_1) bzw. die Differenz der Geschwindigkeiten ($dV = V_s - V_1$) der Nervenfasern aufgetragen. Der Ordinatenwert gibt die Anzahl der Versuchspersonen an, deren Nervenfasern die auf der Abszisse aufgetragenen Geschwindigkeiten bzw. Differenzen aufweisen. Dabei werden die Werte jeweils in einer Schwankungsbreite von 2 m/sec zusammengefaßt.

Der Ordinatenwert 11 bei einem Abszissenwert von 55 m/sec bedeutet also, daß die Geschwindigkeit der entsprechenden Nervenfasern bei 11 Versuchspersonen zwischen 54 und 56 m/sec lag.

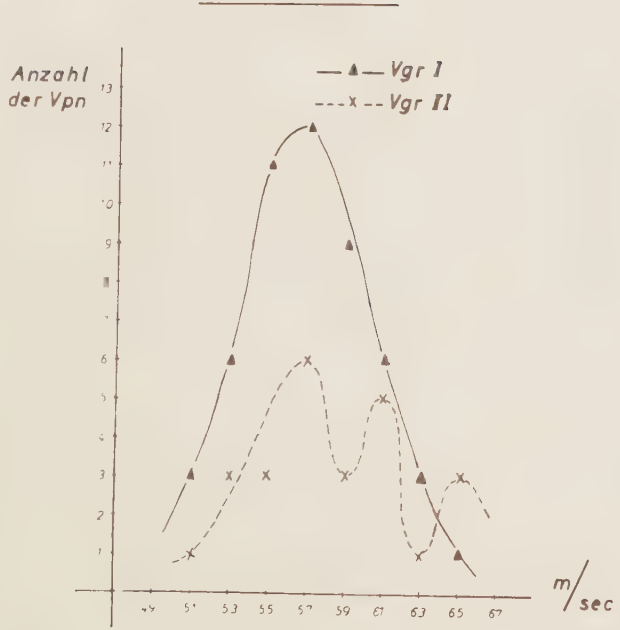


Abb. 6 N. ulnaris

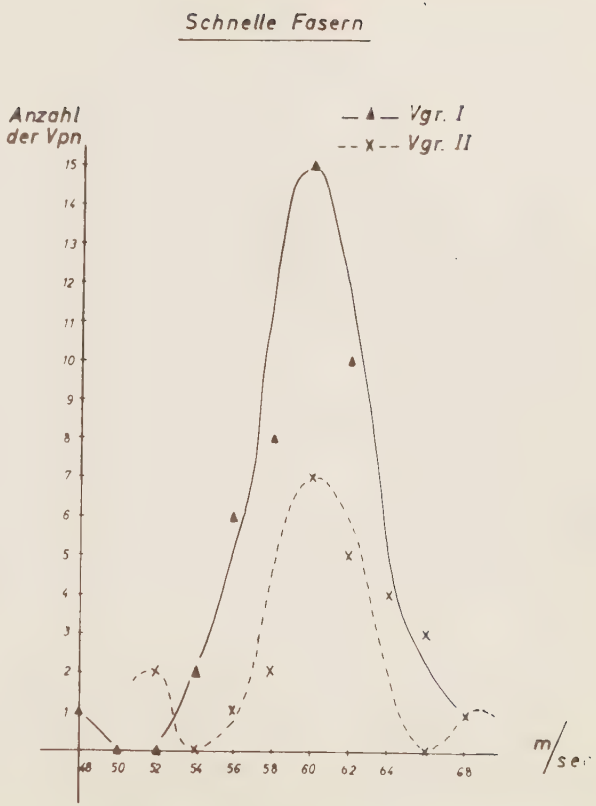


Abb. 7 N. medianus

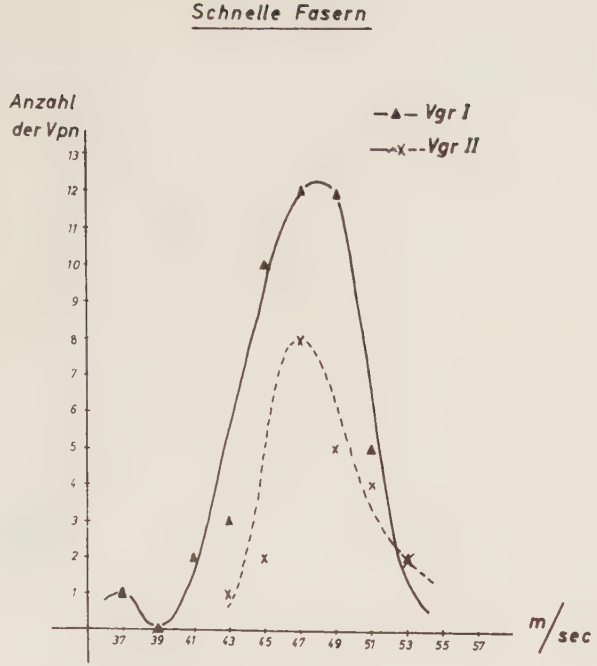


Abb. 8 N. peroneus

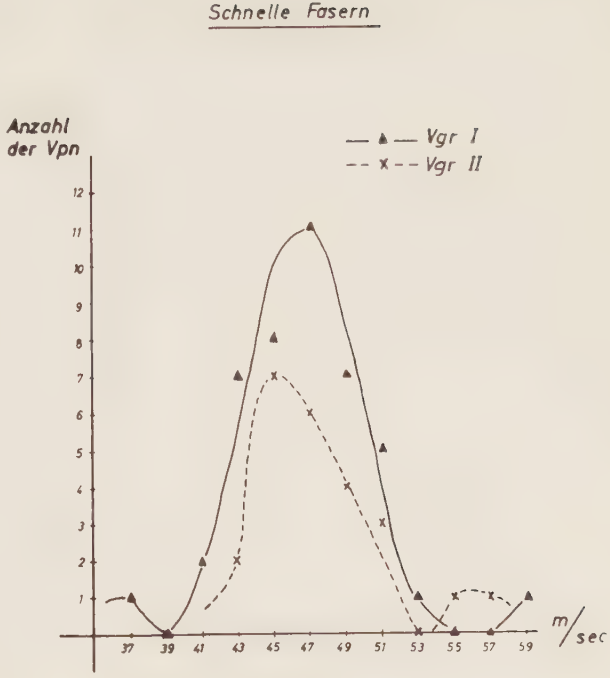


Abb. 9 N. tibialis

Langsame Fasern

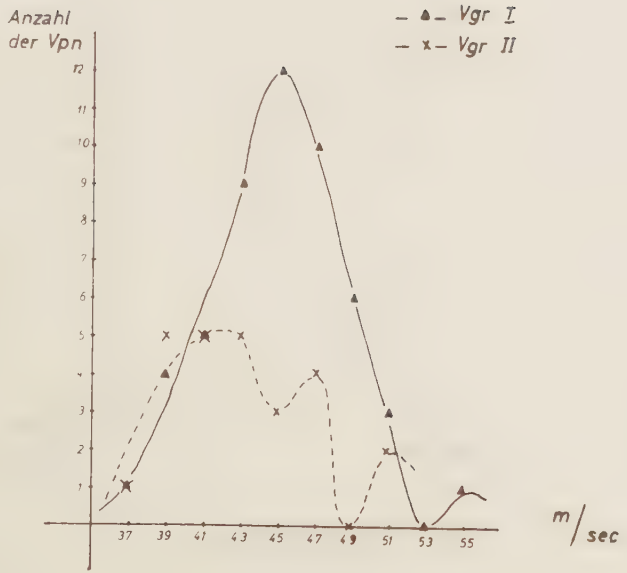


Abb. 10 N. ulnaris

Langsame Fasern

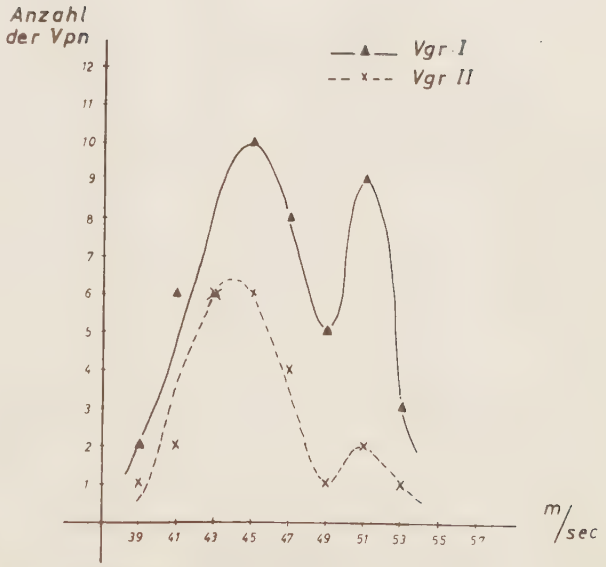


Abb. 11 N. medianus

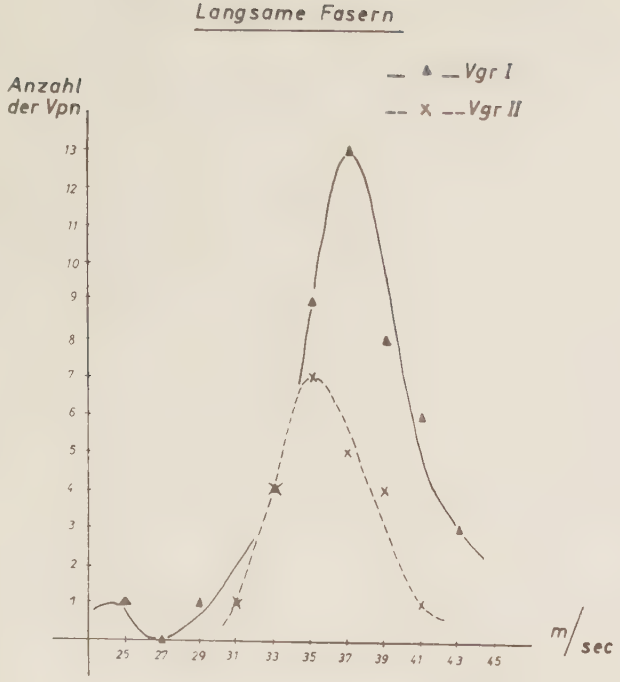


Abb. 12 N. peroneus

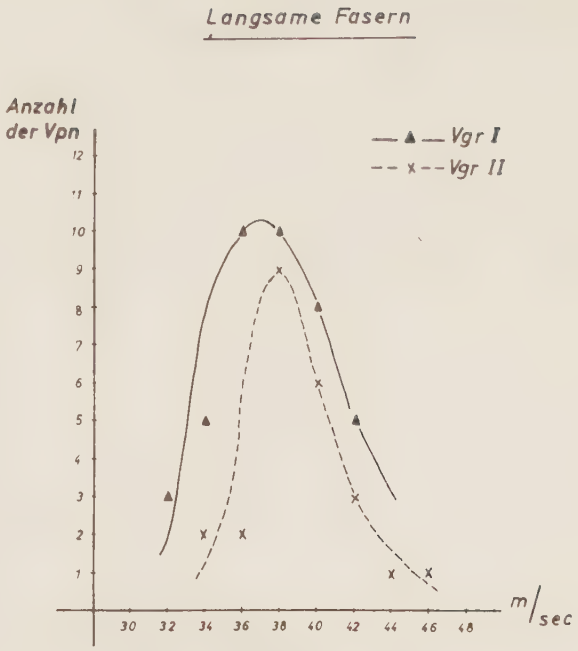


Abb. 13 N. tibialis

Differenz von schnellen u. langsamen Fasern

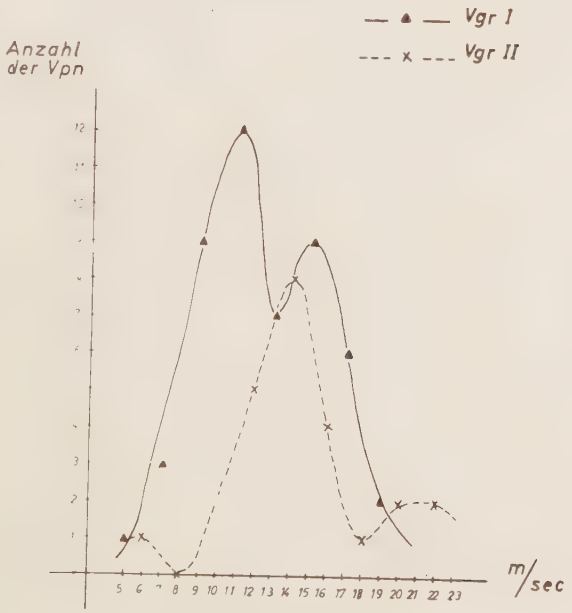


Abb. 14 N. ulnaris

Differenz von schnellen u. langsamen Fasern

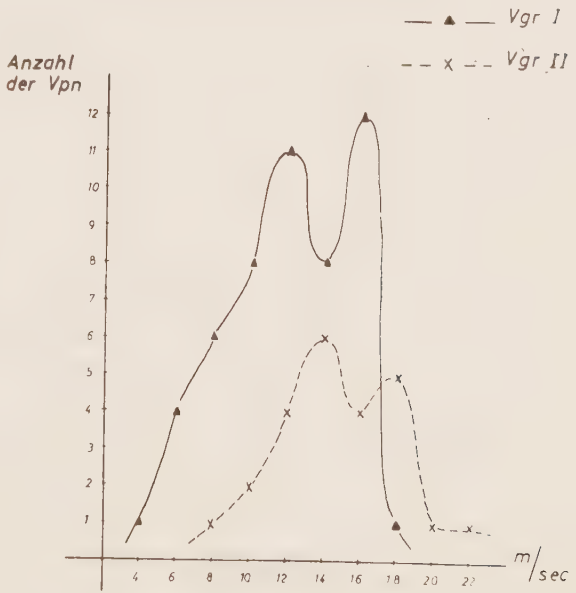


Abb. 15 N. medianus

Differenz von schnellen u. langsamen Fasern

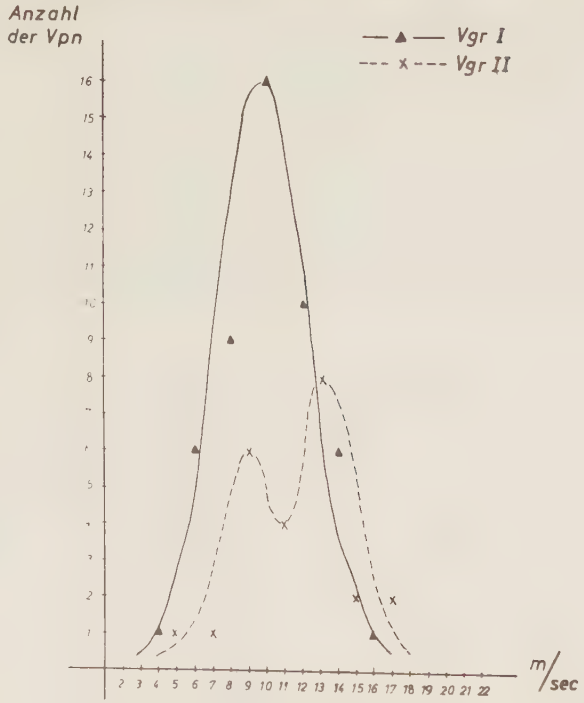


Abb. 16 N. peroneus

Differenz von schnellen u. langsamen Fasern

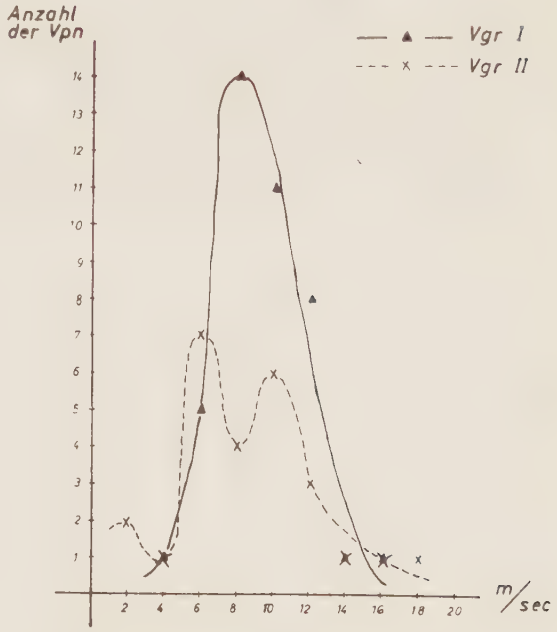


Abb. 17 N. tibialis

VIII. Literatur

Berry, C.M., H.Grundfest und J.C.Hinsey — "The electrical activity of regenerating nerves in the cat." J.Neurophysiol. (Lond.) 7,103(1944).

Bolzani,L. — "La anva intensità durata (i/t) et la velocita di conduzione del nervo nell'nomo." Schweiz.Arch.Neurol.Psychiatr. 74, 148(1954).

Corbat,F. — "Über Messungen der Leitgeschwindigkeit am peripheren Nerven und deren Verwertung in der Klinik". Dtsch.Z.Nervenheilk.182,652-657(1961).

Dawson,G.D. und J.W.Scott — "The recording of nerve action potentials through skin in man". J.Neurol.Neurosurg.Psychiatr. 12,259-267(1949).

Dobbelstein,H. und A.Struppler — "Die NLG als diagnostisches Kriterium bei peripheren neurologischen Störungen." Fortschr.Neuro.Psych.31,616-635(1963).

Eccles,J.D. und F.O'Connor — "Responses, which nerve impulses evoke in mammalian muscle." J.Physiol.(Lond.)145,204(1959).

Esplin, D.W. — "Independence of conduction velocity among myelinated fibres in cat nerve." J.Neurophysiol.25,805(1962).

Esslen,E. und R.Magun — "Elektromyografie, Grundlagen und klinische Anwendung." Fortschr.Neurol.Psychiatr. 26,153(1958).

Fulton,J.F. — "Physiologie des Nervensystems. Deutsche Übersetzung der 3. Auflage. Stuttgart: Enke(1952).

Gassel,M.M. "Sources of error in motor nerve conduction studies." Neurology(Minneapolis)14, 825-835(1964).

Gasser,H,S.und J.Erlanger "The role played by the sizes of the constituent fibres of a nerve trunk in determining the form of its action potential wave." Amer.J.Physiol.80,522(1927).

Gasser,H.S.und H.Grundfest "Axon diameter in relation to spike dimensions and conduction velocity in mammalian A-fibres." Amer.J.Physiol.127,393-414 (1939).

Heck,K.,H.J.Mallach, B.Mayer und K.Mayer "Über die gemeinsame Wirkung von Alkohol und DMSO beim Menschen." Med.Welt17,(N.F.)1963-1975 (1966).

Hendriksen,J.D. "Conduction velocity of motor nerves in normal subjects and in patients with neuromuscular disorders." Thesis,Univ.Minnesota(1956) (nicht veröffentlicht).

Hodes,R.,M.G.Larrabee und W.U.German "Human electromyogram in response to nerve stimulation and conductionvelocity of motor axons; studies on normal and on injured peripheral nerves." Arch.Neuro.Psychiat.(Chic)60, 340(1948).

Hopf, H-C. "Untersuchungen über die Unterschiede in der Leitgeschwindigkeit motorischer Nervenfasern beim Menschen." Dtsch.Zeitschrift für Nervenheilk.,183,579-588(1962).

"Elektromyographie bei Nervenreizung." Fortschr.Neuro.Psych.31,585-616(1963).

Kaeser,H.E. "Veränderungen der Nervenleitgeschwindigkeit bei Neuropathien und Neuritiden." Fortschr.Neuro.Psych.33,221-250(1965).

Katz,B.und O.H.Schmitt "Electric interaction between two adjacent nerve fibres." J.Physiol.(Lond.)97,471-488 (1940).

Lehmann,H.J. "Über das strukturelle und quantitative Verhalten der Schmidt-Lantermann'schen Einkerbungen und der Segmente." Z.Zellforsch.35,213(1950).

"Das quantitative Verhalten der Nervensegmente und die Theorie der saltatorischen Erregungsleitung." Z.Zellforsch.36,173(1951).

Lorente De Nó,R. "The electric excitability of motoneurons." J.cell.comp.Physiol.7,47-71 (1935).

"The effect of an antidromic impulse on the response of the motoneuron." Amer.J.Physiol.112,595-609 (1935).

Poloni ,A.E.und E. Sala "The problem of measuring conduction velocity for the slowest fibres on the ground of spreading of the muscle response as the motor nerve is maximally stimulated at increasing distance from the recording situation." Vortr.,gehalten auf dem ersten Internat.Kongr.für Elektromyographie,Pavia(1961).

Rexed , B. "Contributions to the knowledge of the postnatal development of the peripheral nervous system in man. Hoegström,A.B.Stockholm 1944.

Skorpil,Vl. "Conduction velocity of human nerve structures." 1965 sesit 2 Rocnik 75 Rozpravy Ceskoslovenske akademie ved.

Skorpil,Vl. und Zverina "The speed of conduction in the cranial nerve in man." Cel.neurol.25,152-156(1963a).

Tasaki,J. "Nervous transmission." Thomas,Springfied (III),1953.

"Conduction of nerve impulse." In: Handbook of Physiology S 1: Neurophysiology,Vol.1,75 ff., Williams & Wilkins Co. Baltimore 1959.

Thomas,P.K.,T.A.Sears und R.W. Gilliatt "The range of conduction velocity in normal motor nerve fibres to the small muscles of the hand and foot." J.Neurol. Neurosurg.Psychiat. 22,175 (1959).

Wagmann,I.H. und H.Lesse "Maximum conduction velocities of motor fibres of ulnar nerve in human subjects of various ages and sizes." J.Neurophysiol. 15,235 (1952).

L e b e n s l a u f

Am 1. September 1941 wurde ich, Manfred Braun, als Sohn des Landwirts Hermann Braun und seiner Ehefrau Luise, geb. Schmidgall, in Maienfels geboren.

Von 1947 bis 1952 besuchte ich die Volksschule in Maienfels, anschließend das Hohenlohe-Gymnasium in Öhringen, wo ich im Frühjahr 1961 die Reifeprüfung ablegte.

Von April 1961 bis September 1962 leistete ich meinen Wehrdienst ab. Im Sommersemester 1963 begann ich mit dem Medizinstudium an der Universität Tübingen und bestand hier im Oktober 1965 das Physikum. Während des klinischen Studiums war ich in Wien, Hamburg und Tübingen.

Im Februar 1969 legte ich das medizinische Staatsexamen an der Universität Tübingen ab.

Druck: Polyfoto Dr. Vogt KG
Stuttgart 1, Königstraße 19 a
Telefon 291063

Druck: Polyfoto Dr. Vogt KG
Stuttgart 1, Königstraße 19 a
Telefon 291063